

ALIGNER

Patent number: JP9022120
Publication date: 1997-01-21
Inventor: NISHI TAKECHIKA; TSUJI TOSHIHIKO
Applicant: NIKON CORP
Classification:
 - international: G03F7/20; G03B27/72; H01L21/027
 - european:
Application number: JP19950170715 19950706
Priority number(s):

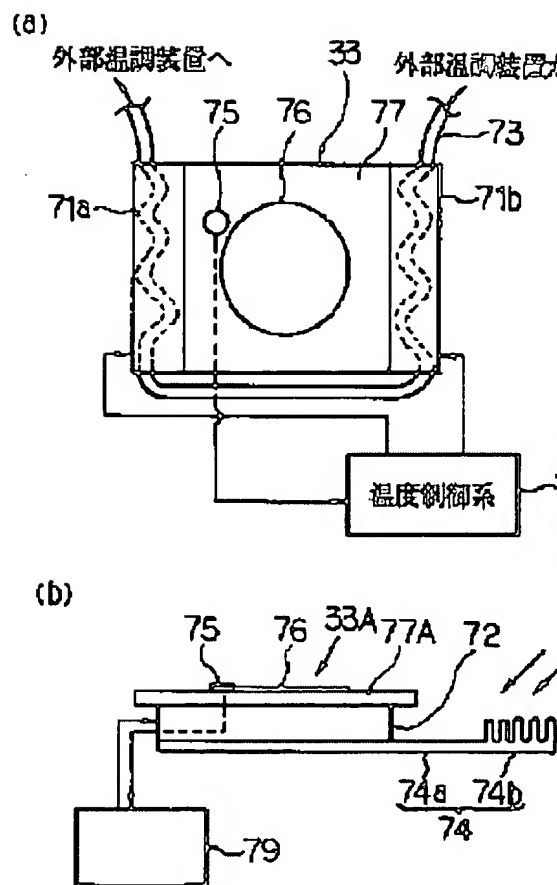
Also published as

US589434

Abstract of JP9022120

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a specified SN ratio from the light quantity sensor of an aligner and to measure the exposure with high precision.

SOLUTION: The reticle and wafer are relatively scanned to project and expose the pattern of a reticle on a wafer by this scanning aligner. Heat exchangers 71a and 71b each consisting of a Peltier element are provided on the side face of an integrator sensor 33 for measuring the exposure to control the temp. of a light receiving face 77. Cooling water is circulated on the heat- radiation side of the heat exchangers to cool the heat exchangers 71a and 71b. The saturation temp. where the temp. of the light receiving face is saturated by an illuminating light is obtained, the heat exchangers 71a and 71b are operated to keep the light receiving face 77 at the saturation temp., and the light quantity is measured. The measured light quantity is corrected from the relation between the previously measured temp. of the light receiving face 77 and the sensor sensitivity at the saturation temp., and the intensity of a light source, etc., is adjusted by a master control system, based on the correction value.



2 family members for:

JP9022120

Derived from 2 applications.

1 ALIGNER

Publication info: **JP9022120 A** - 1997-01-21

2 Exposure apparatus and method for measuring a quantity of light with temperature variations

Publication info: **US5894341 A** - 1999-04-13

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-22120

(43) 公開日 平成9年(1997)1月21日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 3 F 7/20	5 2 1		G 0 3 F 7/20	5 2 1
G 0 3 B 27/72			G 0 3 B 27/72	
H 0 1 L 21/027			H 0 1 L 21/30	5 1 6 D 5 1 6 E

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平7-170715

(22) 出願日 平成7年(1995)7月6日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 西 健爾

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 辻 寿彦

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

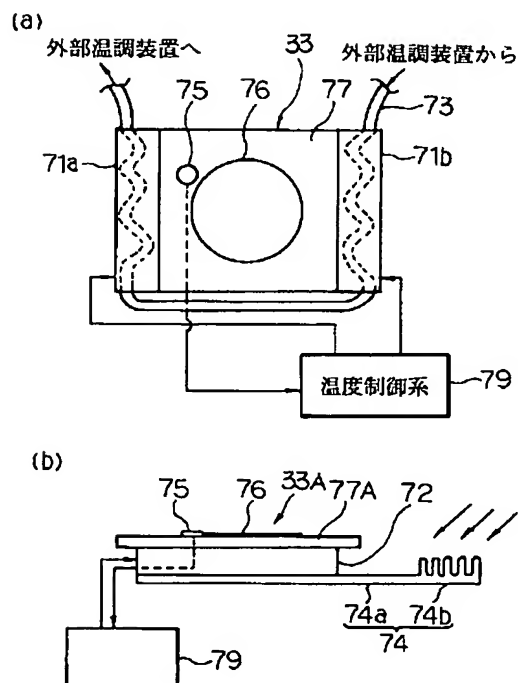
(74) 代理人 弁理士 大森 聡

(54) 【発明の名称】 露光装置

(57) 【要約】

【課題】 露光装置の光量センサから所定値以上のS/N比の信号が得られるようにし、且つ照射量を高精度に計測する。

【解決手段】 レチクルとウエハとを相対的に走査してレチクルのパターンをウエハ上に投影露光する走査型の露光装置において、露光量を計測するインテグレートセンサ33の側面に受光面77の温度を制御するため、ペルチェ素子からなる熱交換体71a、71bを設け、それらの熱交換体の放熱面側に冷却水を循環させて熱交換体71a、71bを冷却する。照明光の照射により受光面の温度が飽和する飽和温度を求め、熱交換体71a、71bを作動させて受光面77の温度を飽和温度に維持しながら光量を測定する。予め求めた受光面77の温度と飽和温度におけるセンサ感度との関係から光量測定値の補正を行い、それに基づいて主制御系により光源等の強度を調整する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 転写用のパターンが形成されたマスクを露光用の照明光で照明する照明光学系を有し、前記照明光のもとで感光基板上に前記マスクパターンを転写する露光装置において、
前記照明光の少なくとも一部の光束の光量を計測する光電センサと、
前記光電センサの受光面の温度を検出する温度検出手段と、
該温度検出手段により検出された温度に基づいて前記光電センサで測定される光量の補正を行う補正手段と、
を備えたことを特徴とする露光装置。

【請求項2】 転写用のパターンが形成されたマスクを露光用の照明光で照明する照明光学系を有し、前記照明光のもとで感光基板上に前記マスクパターンを転写する露光装置において、
前記照明光の少なくとも一部の光束の光量を計測する光電センサと、
前記光電センサの受光面の温度を検出する温度検出手段と、
前記光電センサの受光面の温度を制御する温度制御手段と、を備え、
前記温度検出手段の検出値に基づいて前記温度制御手段を制御することにより、前記光電センサの受光面の温度を所定のレベルに安定化して前記光電センサによる光量計測を行うことを特徴とする露光装置。

【請求項3】 転写用のパターンが形成されたマスクを露光用の照明光で照明する照明光学系を有し、前記照明光のもとで感光基板上に前記マスクパターンを転写する露光装置において、
前記照明光の少なくとも一部の光束の光量を計測する光電センサと、
前記光電センサの受光面の温度が飽和したときの前記光電センサの感度特性を記憶する記憶手段と、を備え、
前記光電センサの受光面の温度がほぼ一定の飽和温度に達した後、光電センサの出力及び前記記憶手段の感度特性より前記照明光の光量計測を行うことを特徴とする露光装置。

【請求項4】 請求項1、2、又は3記載の露光装置であって、
前記光電センサは、前記照明光学系内で前記照明光から分離された光束の光量を部分的に計測する光電センサ、
前記感光基板と同一面上に配置され前記感光基板に照射される照明光の光量を部分的に計測する光電センサ、及び
前記感光基板と同一面上に配置され前記感光基板に照射される照明光の全体の光量を計測する光電センサよりなる光電センサ群内の少なくとも1つであることを特徴とする露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば半導体素子、液晶表示素子、撮像素子、(CCD等)、又は薄膜磁気ヘッド等をフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用される露光装置に関し、特に矩形又は円弧状等の照明領域に対してマスク及び感光性の基板を同期して走査することにより、マスク上のパターンを逐次その基板上に露光する所謂スリットスキャン方式、又はステップ・アンド・スキャン方式等の走査露光型の露光装置に適用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】従来、半導体素子等を製造する際に使用されていた露光装置は、主にレチクル(又はフォトマスク等)のパターンを投影光学系を介してステップ・アンド・リピート方式でフォトリソグラフィが塗布されたウエハ(又はガラスプレート等)上の各ショット領域に露光する一括露光方式の投影露光装置(ステッパー等)であった。斯かる投影露光装置では、ウエハ上の各ショット領域への露光量(露光エネルギー)をそれぞれ適正範囲に収めるための照度制御機構が設けられている。

【0003】図11は、従来の照度制御機構を備えたステッパー方式の投影露光装置を示し、この図11において、水銀ランプ101からの照明光は楕円鏡102によって集光された後、集光光学系103a、及び所望の波長帯の光(例えばi線)を選択する光学フィルタ103bよりなる集光フィルタ系103を経てシャッター104に達する。シャッター104は、タイマー制御系106からの指令に基づいてシャッター制御機構105により開閉が行われる。シャッター104が開状態の場合、照明光はインプットレンズ107を介してほぼ平行光束となってフライアイレンズ108に入射する。

【0004】フライアイレンズ108の射出面に多数の光源像が形成され、これにより照明光のレチクル119上での照度分布の平坦化が行われる。その射出面に複数種類の照明系開口絞りが形成されたターレット板122が配置され、その中の所定の照明系開口絞りを通過した照明光が、反射率が98%程度の反射ミラー109に入射する。反射ミラー109で反射された照明光が、第1リレーレンズ113を経て、ブラインド駆動系115により制御された照明用ブラインド(可変視野絞り)114上で一定の照明エリアに制限され、照明用ブラインド114を通過した照明光が、第2リレーレンズ116、反射ミラー117、及びコンデンサーレンズ118によりリレーされて、レチクル119上の照明領域を均一な照度分布で照明する。その照明光のもとで、レチクル119上のパターンが投影光学系120を介して例えば1/5に縮小されてウエハ121の各ショット領域上に投影露光される。

【0005】この際に、反射ミラー109を透過した漏れ光が、集光レンズ110を介して光電検出器よりなるインテグレートセンサ111に入射し、この出力信号が

照度算出系112に供給されている。インテグレートセンサ111は、例えばレチクル119のパターン形成面とはほぼ共役な位置にあり、ウエハ121での単位時間当たりの露光エネルギーとインテグレートセンサ111上での照度との間の換算係数が予め記憶されている。インテグレートセンサ111の出力信号に照度算出系112でその換算係数を乗ずることにより、ウエハ121上での単位時間当たりの露光エネルギーが分かる。この単位時間当たりの露光エネルギーの情報が主制御系125に供給され、主制御系125は、ウエハ121上での適正露光量をその単位時間当たりの露光エネルギーで除算して得られる露光時間をタイマー制御系106に入力する。これに応じてタイマー制御系106が、その露光時間だけシャッター104を開状態にすることにより、ウエハ121上での積算露光量が適正露光量に制御される。

【0006】また、最近、例えばピッチの小さな周期的なパターンに対する解像度、及び焦点深度を向上させるために、照明系開口絞りを光軸に対して偏心した複数の開口を有する形状とする変形光源法（例えば特開平4-225358号公報参照）、又は照明系開口絞りの形状を輪帯状にする輪帯照明法等が提案されている。そこで、図11の場合にも、ターレット板122中には、変形光源法用の開口絞り、及び輪帯照明法用の輪帯状開口絞り等が形成されている。主制御系125が露光対象のパターン等の情報を照明系開口絞り制御系124に供給すると、照明系開口絞り制御系124が、駆動モータ123を介してターレット板122を回転させて対応する照明系開口絞りをフライアイレンズ108の射出面に設定する。

【0007】このように照明系開口絞りの形状を変化させると、照明系開口絞り中の光源像の個数及び分布が変化することにより、ウエハ121上での照度が変化する。このように照度が変化しても、例えば、ウエハ121の露光面とはほぼ共役な面に配置された受光面を有するインテグレートセンサ111からの出力信号をモニタし、その出力信号に応じてシャッター104の開時間を調整することにより、常にウエハの各ショット領域で適正露光量が得られる構成となっていた。

【0008】このような一括露光方式では、照射面内の照度むらはオプティカル・インテグレートとしてのフライアイレンズ108等により抑制されている。また、インテグレートセンサ111の出力信号を用いて間接的にウエハ121上での積算露光量をモニタすることにより、シャッター104の制御が行われるので、ウエハ121の各ショット領域における照度の時間的安定性は、全く問題にならなかった。更に、インテグレートセンサ111と照明光源（水銀ランプ101）との間で変形光源法等による照明条件の変更が行われても、積算露光量が目標値に達するまでの時間が変化するだけで、特に不都合はなかった。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】上記の如き従来の技術は、レチクルとウエハとを投影光学系に対して静止させた状態で、ウエハ上の各ショット領域に対してそれぞれシャッターを1回開閉することにより露光を行う一括露光方式の露光装置において、照度制御機構を設けたものである。このような一括露光方式では、照度制御上での不都合は特に無かった。

【0010】これに対して最近、半導体素子等の1個のチップパターンが大型化する傾向にあり、投影露光装置においては、より大きな面積のパターンを効率的にウエハ上に露光する大面積化が求められている。このような大面積化を行うためには、特にディストーションを全面で所定量以下に収めることが必要となる。そこで、ディストーションを全面で小さくし、且つ大面積化に応えるために、ウエハ上の各ショット領域を走査開始位置にステッピングした後、例えば矩形、円弧状又は複数の台形等からなる照明領域（これを「スリット状の照明領域」という）に対してレチクル及び感光基板を同期して走査することにより、レチクル上のパターンを各ショット領域に逐次露光する所謂ステップ・アンド・スキャン方式、又はスリットスキャン方式等の走査露光方式の露光装置が見直されている。

【0011】この走査露光方式の露光装置に従来技術を適用すると、種々の不都合が発生してしまう。先ず、走査露光方式では、ウエハの各ショット領域をこれらショット領域の長さより短いスリット状の露光フィールドに対して走査させるため、各ショット領域内の積算露光量の制御は、そのスリット状の露光フィールド内の積算露光量をウエハ上の全ての点で一定にすることで実行される。仮に、ウエハ上の各点での積算露光量が異なると、各ショット領域内で積算露光量のむらが生じることになり、これは一括露光方式の露光装置における照射面内での照度むらと同様の誤差となってしまう。

【0012】これを回避するための手法としては、定照度制御という方式がある。これはインテグレートセンサの出力結果を直接照明電源にフィードバックしてウエハ上での照度を制御するもので、これによりその照度を一定に保つことが可能となる。しかしながら、走査露光方式では一括露光方式に比べて照明領域が狭い分露光フィールドの全体に単位時間当たり照射される露光量である絶対照射量が大きく、またレジスト感度に応じて積算露光量を広い範囲で可変にする必要があるため、照射量の可変範囲を大きくとる必要がでてきた。

【0013】しかし、このように照射量の可変範囲を大きくした場合、照射光量が大きい場合と小さい場合との両方でインテグレートセンサの出力のSN比を所定の値以上に維持しようとする、インテグレートセンサに大きな光量（連続光では照度、又は受光する光束全体での単位時間当たりの光エネルギー）を与えることになり、

光量測定時にインテグレートセンサの温度変化が発生してセンサ感度が変化するという不都合がある。また、ウエハステージ上の照射量も一括露光方式に比べて大きい。ため、広範囲の照射量の照明光がウエハステージ上の光電センサである照度むらセンサや、ウエハからの反射光の光量を測定するための光電センサである照射量モニタに照射されることにより、これらの光電センサ上に無視できない温度変化が発生し、センサ感度が変化するという不都合がある。

【0014】本発明は斯かる点に鑑み、照射量が広範囲に変化した場合でも、光量を計測するセンサでの計測誤差が少なく且つSN比のよい出力信号が得られ、照射量又は積算露光量の計測が高精度に行われる露光装置を提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明による第1の露光装置は、転写用のパターンが形成されたマスク(R)を露光用の照明光(IL)で照明する照明光学系(1~17, 23~40)を有し、その照明光(IL)のもとで感光基板(W)上にそのマスクパターンを転写する露光装置において、その照明光(IL)の少なくとも一部の光束の光量(連続光ではその光束の単位時間当たりの光エネルギー又は照度(単位時間、単位面積当たりの光エネルギー)等を意味する。パルス光での光エネルギーはパルスについて積分したもの、又はパルス内のピーク値等とする)を計測する光電センサ(33, 49, 53, 55)と、この光電センサの受光面(77)の温度を検出する温度検出手段(75)と、この温度検出手段により検出された温度に基づいてその光電センサで測定される光量の補正を行う補正手段(19, 20)と、を備えたものである。

【0016】また、本発明による第2の露光装置は、転写用のパターンが形成されたマスク(R)を露光用の照明光(IL)で照明する照明光学系(1~17, 23~40)を有し、その照明光(IL)のもとで感光基板(W)上にそのマスクパターンを転写する露光装置において、その照明光(IL)の少なくとも一部の光束の光量を計測する光電センサ(33, 49, 53, 55)と、この光電センサの受光面(77)の温度を検出する温度検出手段(75)と、その光電センサの受光面(77)の温度を制御する温度制御手段(71a, 71b, 73, 79)と、を備え、その温度検出手段(75)の検出値に基づいてその温度制御手段を制御することにより、その光電センサの受光面(77)の温度を所定のレベルに安定化してその光電センサによる光量計測を行うものである。

【0017】また、本発明による第3の露光装置は、転写用のパターンが形成されたマスク(R)を露光用の照明光(IL)で照明する照明光学系(1~17, 23~40)を有し、その照明光(IL)のもとで感光基板

(W)上にそのマスクパターンを転写する露光装置において、その照明光(IL)の少なくとも一部の光束の光量を計測する光電センサ(33, 49, 53, 55)と、その光電センサの受光面(77)の温度が飽和したときのその光電センサの感度特性を記憶する記憶手段(19)と、を備え、その光電センサの受光面(77)の温度がほぼ一定の飽和温度(T_s)に達した後、光電センサの出力及びその記憶手段(19)の感度特性よりその照明光(IL)の光量計測を行うものである。

【0018】また、本発明の第1~第3の露光装置において、その光電センサの一例は、その照明光学系内でその照明光(IL)から分離された光束の光量を部分的に計測する光電センサ(33)、その感光基板(W)と同一面上に配置されその感光基板(W)に照射される照明光(IL)の光量を部分的に計測する光電センサ(49)、及びその感光基板(W)と同一面上に配置されその感光基板(W)に照射される照明光(IL)の全体の光量を計測する光電センサ(55)よりなる光電センサ群内の少なくとも1つである。

【0019】斯かる本発明の第1の露光装置によれば、例えば図8に示すように、温度検出手段(75)により光電センサ(33)の受光面(77)の温度を計測し、例えば図9(b)に示す受光面(77)の温度Tと光電センサ(33)の出力変化 ΔI との関係を補正手段(19)で記憶し、その関係に基づいて補正手段(19)により光電センサ(33)の計測値の補正を行うことにより計測誤差が減少する。また、このような温度検出手段(75)及び補正手段(19)を備えることにより、光量が大きく変化して受光面(77)の温度が広範囲に変化しても光電センサ(33)の計測値の補正ができるため、光量を制限する必要がない。従って、光電センサ(33)からは所定値以上のSN比の出力信号を得ることができる。

【0020】また、本発明の第2の露光装置によれば、例えば図8に示すように、第1の露光装置に加えて更に光電センサ(33)の受光面(77)の温度を制御する温度制御手段(71a, 71b, 73, 79)を備えているので、その温度制御手段により受光面(77)の温度を所望の温度に制御し、例えば上述の図9(b)に示す関係に従って光電センサ(33)の計測値を補正する。また、この場合、受光面(33)の温度が所望の温度になるまでの時間が短縮されるので生産性(スループット)が向上する。また、例えばその温度制御手段により受光面(77)の温度を、露光に先立って予め所望の温度にしておけば、更に計測時間が短縮され、生産性が更に向上する。また、本発明の第1の露光装置と同様に光量を制限する必要がないので、光電センサ(33)からは所定値以上のSN比の出力信号を得ることができる。

【0021】また、本発明の第3の露光装置によれば、

例えば図9(a)に示すように、光電センサ(33)の受光面(77)の温度が飽和温度に達した後、光電センサ(33)の計測を行い、記憶手段(19)により記憶された例えば図9(b)に示す飽和温度における感度特性より光電センサ(33)の計測値を算出することができる。また、この場合、本発明の第2の露光装置のように温度制御手段を必要としない。また、受光面(77)が飽和温度になる時間が予め判明しておれば、本発明の第1及び第2の発明で設けた温度検出手段(75)も必要としない。また、飽和温度における感度特性が記憶手段(19)で記憶されておればよい等、装置面及び制御面共に簡単な構成で光電センサ(33)による高精度な測定を行うことができる。また、光電センサ(33)から所定値以上のS/N比の出力信号を得るようにすることができる点は上記の発明と同様である。

【0022】また、本発明の第1〜第3の露光装置において、光電センサが、照明光学系内でその照明光(IL)から分離された光束の光量を部分的に計測する光電センサ(インテグレートセンサ)、感光基板(W)と同一面上に配置され感光基板(W)に照射される照明光(IL)の光量を部分的に計測する光電センサ(照度むらセンサ)、及び感光基板(W)と同一面上に配置され感光基板(W)に照射される照明光(IL)の全体の光量を計測する光電センサ(照射量モニタ)よりなる光電センサ群内の少なくとも1つである場合には、照度むら、又は照度を高精度に計測できる。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、本発明による露光装置の実施の形態の一例につき図1〜図10を参照して説明する。本例は、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に本発明を適用したものである。図1は、本例の投影露光装置を示し、この図1において、水銀ランプ1からの照明光は楕円鏡2によって集光される。その集光点近傍にシャッター制御機構5により開閉されるシャッター4が配置され、シャッター4が開状態の場合、その照明光はミラー3及びインプットレンズ6を介してほぼ平行光束に変換された後、視野絞り7に達する。視野絞り7の直後に、出し入れ自在に減光板23が配置され、減光板23により視野絞り7を通過する照明光の光量を所定範囲内で段階的、又は連続的に変化させることができるようになっている。

【0024】減光板23は、例えば反射型ハーフミラーを複数個切り換え自在に配置したものであり、各ハーフミラーの光軸に対する傾きがそれぞれ全体としての透過率を所定の透過率にするように設定されている。そして、駆動モータを含む減光板駆動機構24で、減光板23をステップ移動させることにより、照明光の光量が調整される。本例では、ウエハWに対する露光量の制御を行うのは露光量制御系20であり、露光量制御系20が減光板駆動機構24の動作を制御すると共に、シャッター

制御機構5の動作をも制御する。更に、露光量制御系20は水銀ランプ1用の電源系22を介して、水銀ランプ1に供給される電流を制御する。

【0025】視野絞り7の開口を通過した後、減光板23によって光量が調整された照明光は、第1リレーレンズ8を経て2段のフライアイレンズ群の内の第1フライアイレンズ9に入射する。第1フライアイレンズ9による複数の光源像からの照明光は、第2リレーレンズ12Aを介して第2フライアイレンズ14に導かれる。本例では、第1フライアイレンズ9の射出面、即ち光源像の形成面の近傍に光量絞り10が配置され、光量絞り10の開口の大きさは光量絞り駆動機構11によって任意の大きさに調整できるようになっている。光量絞り駆動機構11の動作も露光量制御系20により制御される。本例ではその光量絞り10の開口の大きさを調整することにより、第1フライアイレンズ9から第2フライアイレンズ14に向かう照明光の光量を連続的に調整できる。

【0026】図2(a)は、光量絞り10の一例を示し、図2(a)において、光量絞り10は虹彩絞りより構成されている。この場合、例えばその虹彩絞りの周囲のレバーを動かすことにより、図2(b)に示すように、その虹彩絞りのほぼ円形の開口の大きさが連続的に調整できるようになっている。図1に戻り、近年、照明光学系の開口数(N.A.)を絞る、即ち照明光学系の開口数の投影光学系の開口数に対する比の値であるコヒーレンスファクタ(σ 値)を小さくすることにより、所定のパターンに対する焦点深度を向上させる技術が開発されている。このように σ 値を小さくするときには、レチクルを照明する照明光の照度が減少する。本例ではそのような照明光の照度の減少を防止する手段として、第2フライアイレンズ14の入射面での照明領域の大きさを調整する調整機構が設けられている。

【0027】その調整機構は、第2リレーレンズ12Aと、この第2リレーレンズ12Aより屈折力の大きな別の第2リレーレンズ12Bと、それら2つの第2リレーレンズ12A、12Bを切り換える交換機構13とから構成され、本例の投影露光装置全体の動作を統括制御する主制御系19によりその交換機構13の動作が制御される。そして、通常の σ 値で照明を行うときには、交換機構13を介して第1フライアイレンズ9と第2フライアイレンズ14との間に一方の第2リレーレンズ12Aが配置され、これにより第2フライアイレンズ14の入射面のほぼ全面が照明光により照明される。一方、 σ 値を小さくして(照明光学系の開口数を絞って)照明を行うときには、交換機構13を介して第1フライアイレンズ9と第2フライアイレンズ14との間に他方の第2リレーレンズ12Bが配置され、これにより第2フライアイレンズ14の入射面の中央部が部分的に照明光で照明される。従って、 σ 値を小さくしたときには、第2フライアイレンズ14の段階での照明光の照度が高くなるた

め、 σ 値の如何に拘らず、レチクル及びウエハ上での照明光の照度がほぼ一定に維持される。

【0028】なお、本例の調整機構は、切り換え方式であるが、その調整機構を第1フライアイレンズ9と第2フライアイレンズ14との間に配置されるズームレンズ系と、このズームレンズ系の変倍を行う変倍機構とから構成してもよい。このようにズームレンズ系を使用することにより、第2フライアイレンズ14の入射面での照明視野の大きさを連続的に変化させることができる。従って、 σ 値を連続的に変化させたような場合でも、常にレチクル及びウエハ上での照度を高く維持できる利点がある。

【0029】次に、本例の第2フライアイレンズ14は、それぞれモザイク状にレンズエレメントが密着して配置された片面が平面状の2個のレンズ束14a及び14bを、それぞれの平面部が対向するように近接して配置したものである。そこで、以下では第2フライアイレンズ14を「モザイク型フライアイレンズ14」と呼ぶ。

【0030】図3(a)は本例のモザイク型フライアイレンズ14の側面図であり、この図3(a)において、照明光学系の光軸AX1に沿ってそれぞれの平面部FB及びFCが間隔 δ で対向するように配置された2個のレンズ束14a及び14bよりモザイク型フライアイレンズ14が構成されている。この場合、光源側の第1のレンズ束14aを構成する各レンズエレメントはそれぞれ入射面FA側で屈折力を有し、レチクル側の第2のレンズ束14bを構成する各レンズエレメントはそれぞれ射出面FD側で屈折力を有する。

【0031】更に、第1のレンズ束14aに光源側から入射する平行光束は、第2のレンズ束14bの射出面FD上に集光され、逆に第2のレンズ束14bにレチクル側から入射する平行光束は、第1のレンズ束14aの入射面FA上に集光されるように、各レンズエレメントの屈折力が定められている。即ち、第2のレンズ束14bの射出面FDは、モザイク型フライアイレンズ14の焦点面となっており、その射出面FDに多数の光源像が形成される。従って、レンズ束14a及び14bは、2つが組み合わされて初めて1個のフライアイレンズとして作用する。なお、図3(a)～(c)に示すモザイク型フライアイレンズ14の2つのレンズ束14a、14bを構成するレンズエレメントの個数は一例であり、実際には必要とされる照度分布の均一性の要求精度に応じてそのレンズエレメントの個数が決定される。

【0032】図3(b)は、図3(a)のAA線に沿って第1のレンズ束14aを示す正面図、図3(c)は図3(a)のCC線に沿って第2のレンズ束14bを示す正面図であり、図3(a)及び図3(c)において、本例の投影露光装置の走査露光時のレチクルの走査方向に対応する方向をX1方向として、その走査方向に垂直な

非走査方向に対応する方向をY1方向としている。

【0033】この場合、図3(b)に示すように、第1のレンズ束14aは、X1方向の幅 dx でY1方向の幅 dy ($dy > dx$)の細長い矩形の断面形状を有するレンズエレメント61を、それぞれY1方向に密着して配列することにより、第1行62A、第2行62B、第3行62C、…の各行のレンズ群を構成し、且つ奇数番目の第1行62A、第3行62C、…のレンズ群と、偶数番目の第2行62B、第4行62D、…のレンズ群とをY1方向にレンズエレメントの幅 dy の1/2だけずらして構成されている。

【0034】本例では図3(a)において、モザイク型フライアイレンズ14の入射面、即ち第1のレンズ束14aの入射面FAがレチクルのパターン面と共役であり、その第1のレンズ束14aを構成するレンズエレメント61の断面形状が、レチクル上のスリット状の照明領域と相似であるときに最も照明効率が高くなる。そこで、レンズエレメント61の断面形状のX1方向の幅 dx と、Y1方向の幅 dy との比の値は、レチクル上のスリット状の照明領域の走査方向の幅と、非走査方向の幅との比の値にほぼ等しく設定されている。そのため、レンズエレメント61の断面は、非走査方向に対応するY1方向に細長い矩形となっている。一例として、 $dx : dy = 1 : 3$ 程度に設定される。

【0035】また、図3(c)に示すように、第2のレンズ束14bは、X1方向の幅 ex ($= 2 \cdot dx$)でY1方向の幅 ey ($= dy/2$)のほぼ正方形に近い断面形状を有するレンズエレメント65を、それぞれX1方向に密着して配列することにより、第1列66A、第2列66B、第3列66C、…の各列のレンズ群を構成し、且つ奇数番目の第1列66A、第3列66C、…のレンズ群と、偶数番目の第2列66B、第4列66D、…のレンズ群とをX1方向にレンズエレメントの幅 ex の1/2だけずらして構成されている。因みに、第1のレンズ束14aのレンズエレメント61の断面形状について、 $dx : dy = 1 : 3$ 程度である場合、第2のレンズ束14bのレンズエレメント65の断面形状について、 $ex : ey = 2 : 1.5 = 4 : 3$ 程度となり、レンズエレメント65の断面形状はほぼ正形状となる。

【0036】このような配置において、更に第1のレンズ束14aの或るレンズエレメントの中心と第2のレンズ束14bの或るレンズエレメントの中心とをX1方向、及びY1方向に関して合わせておく。これにより、第1のレンズ束14aを構成する全てのレンズエレメント61の中心63と、第2のレンズ束14bを構成する全てのレンズエレメント65の中心67とが、X1方向及びY1方向に関して同じ位置に配列されている。

【0037】このようにモザイク型フライアイレンズ14を2つのレンズ束14a、14bに分けた場合の作用効果につき説明するに、本例のモザイク型フライアイ

レンズ14は、2段目のフライアイレンズであり、この2段目のフライアイレンズの射出面に形成される個々の光源像は、図1の1段目のフライアイレンズ9の射出面上で光量絞り10の開口内に形成される多数の光源像の像である。即ち、モザイク型フライアイレンズ14の射出面に形成される個々の光源像は、多数の微小な光源像を例えば円形の領域内に一様に分布させたものとなる。

【0038】従って、このモザイク型フライアイレンズ14の射出面に形成される光源像を、図3(b)に示すように第1のレンズ束14aの端面に射影して得られる光源像は、各レンズエレメント61の中心63を中心とする円形の領域64内に微小な光源像を分布させたものとなる。その円形の領域64は、図2に示す光量絞り10の開口の形状と相似である。ところが、本例の第1のレンズ束14aの各レンズエレメント61の断面形状は細長い矩形であるため、特にその光量絞り10の開口を大きく設定すると、その円形の領域63が各レンズエレメント61の端面からはみ出してしまふ。従って、モザイク型フライアイレンズ14の代わりに、そのレンズエレメント61と同じ断面形状のレンズエレメントを束ねたフライアイレンズを使用すると、射出面で光源像のケラレが生じて照明効率が低下してしまう。

【0039】これに対して、本例では第1のレンズ束14aの直後に、図3(c)に示すように、それぞれほぼ正方形の断面形状を有するレンズエレメント65からなる第2のレンズ束14bが配置され、各レンズエレメント65の中心67を中心とする円形の領域64内に分布するような光源像が形成される。この場合、レンズエレメント65の断面形状は正方形に近いので、図2の光量絞り10の開口を大きく設定したときでも、その円形の領域64はほぼそのレンズエレメント65の断面内に収まっている。従って、モザイク型フライアイレンズ14の射出面に形成される多数の光源像のケラレが少なくなり、照明効率が改善されている。そして、モザイク型フライアイレンズ14の射出面に形成される多数の光源像からの照明光で重疊的に照明を行うことにより、レチクル及びウエハ上での照度分布の均一性は極めて高くなっている。

【0040】また、図1において、モザイク型フライアイレンズ14のレチクル側の第2のレンズ束14bには、このレンズ束14bを光軸AX1に垂直な方向にシフトさせると共に、このレンズ束14bのアオリ角（傾斜角）を所定範囲内で調整する調整機構15が取り付けられている。本例では、調整機構15を介してレンズ束14bのシフト量、及びアオリ角を調整することにより、照明光学系におけるテレセントリック性のずれ量の補正を行う。例えば、水銀ランプ1の交換時、又は照明条件の切り換え時（通常照明と変形光源との切り換え等）に、主制御系19が調整機構15の動作を制御することにより、自動的にそのテレセントリック性の補正が

行われるようになっている。

【0041】さて、図1において、モザイク型フライアイレンズ14の射出面の近傍に複数種類の照明系開口絞りが配置された照明系開口絞り板16が設置されている。図4は、その照明系開口絞り板16を示し、この図4において、照明系開口絞り板16上にはほぼ等角度間隔で、通常の円形開口よりなる開口絞り18A、小さな円形開口よりなりコヒーレンスファクタである σ 値を小さくするための開口絞り18B、輪帯照明用の輪帯状の開口絞り18C、及び変形光源法用に複数の開口を偏心させて配置してなる変形開口絞り18Dが配置されている。その照明系開口絞り板16を回転させることにより、4個の開口絞りの内の所望の開口絞りを選択できる。

【0042】図1に戻り、主制御系19が、駆動モータよりなる照明系用絞り駆動機構17を介して、照明系開口絞り板16の回転角を制御する。モザイク型フライアイレンズ14から射出された後、照明系開口絞り板16の中から選択された開口絞りを通じた照明光ILは、透過率が98%程度のビームスプリッター31に入射する。そして、ビームスプリッター31を透過した照明光が、第1リレーレンズ34を経て2枚の可動ブレード35A及び35Bを有する可動ブラインド（可変視野絞り）に至る。以下、その可動ブラインドを「可動ブラインド35A、35B」と呼ぶ。可動ブラインド35A、35Bの配置面は、モザイク型フライアイレンズ14の射出面のフーリエ変換面となっている。即ち、可動ブラインド35A、35Bの配置面は、後述のレチクルRのパターン形成面と共役であり、可動ブラインド35A、35Bの近傍に、開口形状が固定された固定ブラインド37が配置されている。

【0043】固定ブラインド37は、例えば4個のナイフエッジにより矩形の開口を囲んだ機械的な視野絞りであり、その矩形の開口によりレチクルR上でのスリット状の照明領域の形状が規定される。即ち、可動ブラインド35A、35B、及び固定ブラインド37により制限された照明光ILが、第2リレーレンズ38、コンデンサーレンズ39、及びミラー40を介してレチクルR上のスリット状の照明領域41を均一な照度分布で照明する。

【0044】この場合、固定ブラインド37の配置面は、レチクルRのパターン形成面の共役面から僅かに前後何れかの方向にデフォーカスされているため、スリット状の照明領域41の輪郭部の照度分布が所定の勾配をもって変化する。また、可動ブラインド35A、35Bは、走査露光の開始時及び終了時にスリット状の照明領域がレチクルR上の露光すべきでない領域にかかるのを防止する役割を果たす。そのため、可動ブレード35A及び35Bは、それぞれスライド機構36A及び36Bにより開閉できるように支持されている。スライド機構

36A及び36Bが可動ブラインド駆動機構を構成し、可動ブラインド駆動機構の動作はステージ制御系46により制御される。

【0045】そして、レチクルR上の照明領域41内のパターンの像が、投影光学系PLを介して投影倍率 β (β は例えば $1/4$ 、又は $1/5$ 等)でウエハW上のスリット状の露光フィールド47に投影される。ここで、投影光学系PLの光軸に平行にZ軸を取り、Z軸に垂直な平面内で走査露光時のレチクルR及びウエハWの走査方向に平行にX軸を取り、Z軸に垂直な平面内でX軸に垂直な方向(非走査方向)にY軸を取る。本例では、レチクルRは、X方向に摺動自在な走査ステージ42を介してレチクルベース43上に保持され、ウエハWは、ウエハWをX方向に走査すると共にY方向に位置決めするウエハステージ48上に保持されている。ウエハステージ48には、ウエハWをZ方向に位置決めするZステージ等も組み込まれている。

【0046】走査ステージ42及びウエハステージ48よりステージ駆動機構が構成され、このステージ駆動機構の動作がステージ制御系46により制御されている。走査露光時にはステージ制御系46は、走査ステージ42を介して照明領域41に対して+X方向(又は-X方向)に所定速度 V_R でレチクルRを走査するのと同期して、ウエハステージ48を介してウエハW上の所定のショット領域を露光フィールド47に対して-X方向(又は+X方向)に速度 V_W ($=\beta \cdot V_R$)で走査する。これにより、そのショット領域上にレチクルRのパターンが逐次転写露光される。また、ステージ制御系46は、走査露光中にスライド機構36A及び36Bを介して、可動ブラインド35A、35Bの位置を制御する。この場合の制御方法につき図6を参照して説明する。

【0047】先ず、走査露光の開始直後には、図6(a)に示すように、レチクルRのパターン領域87を囲む遮光帯88に対して、図1の固定ブラインド37の開口部の像37Rが外側に出ている。そこで、不要な部分への露光を避けるため、図1の可動ブレード35Bの位置を移動させて、可動ブラインド35A、35Bの像35Rの一方のエッジ部35Raを遮光帯88内に入れておく。その後、図6(b)に示すように、固定ブラインド37の像37Rが走査方向にパターン領域87内に収まっているときには、可動ブラインド35A、35Bの像35Rをその像37Rを囲むように設定する。そして、走査露光の終了時に、図6(c)に示すように、遮光帯88に対して、固定ブラインド37の像37Rが外側に出るときには、図1の可動ブレード35Aの位置を移動させて、可動ブラインド35A、35Bの像35Rの他方のエッジ部35Rbを遮光帯88内に入れておく。このような動作により、レチクルR上のスリット状の照明領域41が遮光帯88の外側に出ることが防止され、ウエハW上への不要なパターンの露光が防止され

る。

【0048】また、図1において、ウエハステージ48上のウエハWの近傍に、ウエハWの露光面と同じ高さの受光面を有する光電検出器よりなる照度むらセンサ49が設置されている。照度むらセンサ49は、その受光面に設けられたピンホール状の透過部から照明光の一部を受光して露光フィールド内での照度のばらつきを検出するものであり、測定の際はウエハステージ48を駆動して、照度むらセンサ49のピンホールを露光フィールド47の中心部に移動した後、ウエハステージ48を微動しながら露光フィールド47内の複数箇所所で照度を測定して、それら複数箇所における照度のばらつきを計測する。

【0049】また、照度むらセンサ49と並列に露光フィールド47の照射量を測定する光電検出器よりなる照射量モニタ55が設置されている。照射量モニタ55は、照度むらセンサ49と同様にウエハWの露光面と同じ高さに配置された露光フィールド47の全面が入る大きさを持つ受光面を有し、測定の際はウエハステージ48を駆動して、その受光面で露光フィールド47の全体を覆い、受光面から入射する光量を計測する。

【0050】照度むらセンサ49及び照射量モニタ55から出力される検出信号は主制御系19に供給されており、主制御系19はそれらの検出信号に基づき露光量制御系20を介して減光板23及び光量絞リ10を制御する。更に、ウエハステージ48上にレチクルアライメント等を行う際に使用される基準マーク板50が設けられ、この基準マーク板50上に開口パターンよりなる基準マーク50aが形成され、レチクルR上にも対応するようにアライメントマークが形成されている。例えばレチクルRを交換したときには、基準マーク板50を投影光学系PLの有効露光フィールド内に移動させ、基準マーク板50の基準マーク50aを底面側から光源51により照明光ILと同じ波長帯の照明光により照明する。この照明光のもとで、レチクルRの上方のミラー45を介してレチクルアライメント顕微鏡44により、基準マーク50a及びレチクルR上のアライメントマークの像を観察する。そして、この観察結果に基づいて基準マーク板50に対するレチクルRの位置合わせを行う。

【0051】更に、基準マーク板50上にはフォーカス・キャリブレーション用の基準マークも形成され、この基準マークの底部に検出系が配置されている。図5

(a)はそのフォーカス・キャリブレーション用の基準マーク、及び検出系を示し、この図5(a)において、基準マーク板50上の遮光膜中に例えば十字型の開口パターンよりなる基準マーク50bが形成され、この基準マーク50bの底部に検出系54が配置されている。この基準マーク50bを用いて、次のように投影光学系PLの結像面の位置が求められる。即ち、その検出系54において、光ファイバ81を介してウエハステージ48

の内部に図1の照明光ILと同じ波長帯の照明光を導き、この照明光によりコリメータレンズ82、ハーフミラー83、及び集光レンズ84を介して基準マーク50bを底面側から照明する。この基準マーク50bを通過した照明光が、投影光学系PLを介してレチクルRのパターン形成面に基準マーク50bの像を結像し、このパターン形成面からの反射光が投影光学系PLを介して基準マーク50bに戻る。そして、基準マーク50bを通過した照明光が、検出系54内で集光レンズ84、ハーフミラー83、及び集光レンズ85を経て光電検出器86に入射する。

【0052】光電検出器86の検出信号（光電変換信号）S6は、図1の主制御系19に供給される。この場合、ウエハステージ48内のZステージを駆動して、基準マーク50bのZ方向の位置を変化させると、図5(b)に示すように、検出信号S6は基準マーク50bのZ座標が投影光学系PLの結像面の位置に合致するときにピークとなるように変化する。従って、検出信号S6の変化より、投影光学系PLの結像面の位置を求めることができ、それ以後はその位置にウエハWの露光面を設定することにより、良好な状態で露光が行われる。従って、その基準マーク板50の基準マーク50bを用いることにより、投影光学系PLの結像面の位置のキャリブレーション（フォーカス・キャリブレーション）が行われる。

【0053】図1に戻り、透過率が98%程度のビームスプリッター31で反射された漏れ光が、集光レンズ32を介して光電検出器よりなるインテグレートセンサ33の受光面に集光されている。インテグレートセンサ33の受光面は、一例としてレチクルRのパターン形成面、及びウエハWの露光面とほぼ共役であり、インテグレートセンサ33の検出信号（光電変換信号）が露光量制御系20に供給されている。その検出信号は、露光量制御系20を介して水銀ランプ1用の電源系22及び主制御系19にも供給されている。

【0054】露光量制御系20にはメモリ21が接続され、メモリ21内にインテグレートセンサ33の出力信号からウエハW上での照射量（単位時間当たりの露光量）を求めるための変換係数等が格納されている。但し、本例では、インテグレートセンサ33の出力信号は、例えば所定の基準照度計を用いて較正され、この較正結果に基づいてインテグレートセンサ33の出力信号を補正するための補正係数もメモリ21内に記憶されている。

【0055】インテグレートセンサ33の受光面はレチクルのパターン面とほぼ共役な位置に配置されており、これにより、照明系開口絞り板16を回転させて照明系開口絞りの形状を変えた場合でも、インテグレートセンサ33の検出信号に誤差が生じないようにしている。但し、インテグレートセンサ33の受光面を、投影光学系

PLにおけるレチクルのパターンのフーリエ変換面（瞳面）と実質的に共役な観察面に配置して、この観察面を通過する全光束を受光できるようにしても構わない。

【0056】更に本例では、透過率が98%程度のビームスプリッター31に関してインテグレートセンサ33と反対側に、集光レンズ52、及び光電検出器よりなるウエハ反射率モニタ53が設置され、集光レンズ52によりウエハ反射率モニタ53の受光面はウエハWの表面とほぼ共役となっている。この場合、レチクルRを透過して投影光学系PLを介してウエハW上に照射される照明光の内で、ウエハWでの反射光が、投影光学系PL、レチクルR等を介してウエハ反射率モニタ53で受光され、この検出信号（光電変換信号）が主制御系19に供給される。主制御系19では、レチクルR側に照射される照明光ILの単位時間当たりの光エネルギー、及びウエハ反射率モニタ53の検出信号から算出されるウエハWでの反射光の単位時間当たりの光エネルギーに基づいて、投影光学系PLを通過する照明光の単位時間当たりの光エネルギーを求める。更に、このように求められた光エネルギーに露光時間を乗じて得られる熱エネルギーに基づいて、主制御系19は投影光学系PLの熱膨張量を予測し、この予測された熱膨張量に依る投影光学系PLのディストーション等の結像特性の変化量を求める。そして、主制御系19は、投影光学系PLに接続された不図示の結像特性補正機構を介して、投影光学系PLの結像特性を元の状態に補正する。

【0057】図7は、以上説明した露光量の制御システムの主要部を取り出した系統図を示し、この図7に示すように、水銀ランプ1から射出された露光用の照明光ILは照明系開口絞り板16、光量絞り10、及び減光板23により光量が調節され、ビームスプリッター31を殆ど（98%）透過してレチクルRに照射される。そして、レチクルRを透過した照明光ILがウエハW上に照射される。この露光量の制御システムにおいては、照明光ILの露光量は4箇所設けた光電センサ（光電検出器）により計測される。1番目の光電センサは、ビームスプリッター31での反射光を受光して単位時間当たりの光エネルギーを計測するインテグレートセンサ33であり、このセンサは水銀ランプ1からの照明光ILの一部の光量を直接検出する。2番目の光電センサは、ウエハWからの反射光がビームスプリッター31により反射される光を受光して単位時間当たりの光エネルギーを計測するウエハ反射率モニタ53であり、投影光学系PLを通過する光量を検出して投影光学系PLの結像特性を補正することが主目的となる。また、3番目及び4番目の光電センサは、ウエハWと同じ平面上に受光面を有する照度むらセンサ49及び照射量モニタ55であり、それぞれ露光フィールドの照度むら及び露光フィールドにおける全照射量を検出する。

【0058】そして、インテグレートセンサ33の計測

値は露光量制御系20に供給されている。また、インテグレートセンサ33の計測値は露光量制御系20を介して主制御系19にも供給されており、主制御系19はその測定値を補正して露光量制御系20に供給する。露光量制御系20はその補正值に基づき電源系22を介して水銀ランプ1の強度を制御すると共に、それぞれの光量絞り駆動機構11及び減光板駆動機構24を介して光量絞り10及び減光板23を制御する。また、ウエハ反射率モニタ53、照度むらセンサ49、及び照射量モニタ55の測定値は主制御系19に供給され、主制御系19はそれらの測定値に基づき、照明系用絞り駆動機構17を介して照明系開口絞り板16の開度を調節する。

【0059】以上の構成を有する露光量の制御システムでは、先ず第1に3つの光電センサにより露光量を高精度で検出することが極めて重要となる。特に、露光量測定用の光電センサは、強力な照明光に直接曝されるため、センサ自体の温度上昇等による温度変化により測定誤差が発生する。そのため、本例では以下のように温度変化に柔軟に対応できる計測システムを備えている。

【0060】図8(a)は、インテグレートセンサ33の拡大平面図を示し、この図8(a)において、インテグレートセンサ33本体の左右の側面に熱交換体(ペルチェ素子)71a、71bが固定されている。インテグレートセンサ33の受光面77の中央部の円形の照射フィールド76の外側の部分は熱伝導率の高い部材が用いられており、熱交換体71a、71bの吸熱側(低温側)はその部材に直接固定されている。照射フィールド76に照明光が照射されたことで生じた熱は受光面77の熱伝導率の高い部材の左右の側壁から熱交換体71a、71bに吸収される。熱交換体71a、71bの吸熱側と直行する放熱側(高温側)の底面には冷却パイプ73が密着して固定されており、熱交換体71a、71bの放熱側の熱は外部温調装置(不図示)に通じる冷却パイプ73内を循環する冷却水により持ち去られる。

【0061】また、照射フィールド76の外周近傍に温度センサ75が設置されており、照射フィールド76の周辺の温度が常時計測されている。温度センサ75の測定値は温度制御系79に供給されており、温度制御系79はその測定値に基づいて熱交換体71a、71bに供給する電力を制御する。温度センサ75の測定値は主制御系19にも供給されており、主制御系19はその温度測定値に基づいてインテグレートセンサ33の光量の測定値を補正する。なお、熱交換体71a、71bの放熱側の温度をそれぞれ測定する温度センサ(不図示)を設け、外部温調装置ではそれらの温度センサの測定値に基づいて、熱交換体71a、71bの放熱側の温度が所定の温度になるように冷却パイプ73内を循環する冷却水の温度及び流量を制御してもよい。

【0062】図8(b)は、図8(a)の変形例の正面図を示し、この図8(b)において、インテグレートセ

ンサ33と同様な光電センサよりなるインテグレートセンサ33Aの受光面77Aの下部に熱交換体72が照射フィールド76を囲むように固定されている。熱交換体72の放熱側にはヒートパイプ74a及び放熱フィン74bからなる放熱板74が固定されており、受光面77Aの熱は熱交換体72の吸熱側(低温側)で吸収され、熱交換体72の放熱側からヒートパイプ74aを通して放熱板74の先端部の放熱フィン74bから外部に放出される。また、放熱フィン74bの近傍に不図示であるが、冷却用のファンが設置されており、その冷却用のファンにより放熱フィン74bのからの放熱を促進するようにしている。図8(b)の矢印はその冷却用のファンからの気流の流れを示す。

【0063】なお、図8(a)の例ではペルチェ素子からなる熱交換体71a、71bによりインテグレートセンサ33の受光面77の冷却を行っているが、熱交換体71a、71bの容量が不足する場合は、液冷又は空冷方式により直接インテグレートセンサの受光面を冷却するようにしてもよい。また、本例のペルチェ素子からなる熱交換体71a、71bは、熱交換体71a、71bに供給する電流の方向を逆にすると、吸熱側(低温側)と放熱側(高温側)が逆になる特性を有している。従って、受光面77の温度を上げたいときにもそのままの状態を利用することができる。但し、放熱側に流通する冷却水は温水に切り換える必要があるので、予めそのような温調装置を設備すれば受光面77の冷却及び加熱の両方の目的を達成することができる。

【0064】次に、本例のインテグレートセンサ33における露光量の計測動作について説明する。インテグレートセンサ33の受光面77の温度は、受光面77に照射される照射エネルギーの蓄積量に対応して変化する。受光面77の温度が変化すると、インテグレートセンサ33の感度が変化する。従って、同じ光量でも受光面の温度が異なれば、インテグレートセンサ33からの出力が変化し、何らかの補正を行わないと誤差が発生する。本例の露光量の計測システムでは、予め露光量とインテグレートセンサ33の受光面77の温度との関係、及びインテグレートセンサ33の受光面77の温度とインテグレートセンサ33の感度との関係を求めておく。そして、予め求めたこれらの2つの関係に基づいてインテグレートセンサ33に入射する照明光の光量を補正するものである。以下、具体的に説明する。

【0065】図9(a)は、照射エネルギーによる受光面77の温度変化を示し、この図9(a)において、横軸はインテグレートセンサ33で計測された単位時間当たりの光エネルギーの積分値としての照射エネルギー量E(mJ)を表し、縦軸は温度センサ75により測定された受光面77の温度T(℃)を表している。この測定に際しては熱交換体71a、71bの作動を停止している。従って、受光面77の温度は照射エネルギー量Eが

0で基準温度 T_N の状態から、曲線91に示すように照射エネルギー量 E の増加に伴って次第に上昇する。しかし、受光面77の温度の上昇に伴って受光面77からの発散熱も増加し、照射エネルギー量 E_s においてそれ以上照射エネルギー量が増加しても受光面77の温度がほぼ一定となる飽和温度 T_s に達する。ここで照射エネルギー量 E_s を飽和エネルギー量とする。これらの飽和温度 T_s 及び飽和エネルギー量 E_s は、曲線61で表される照射エネルギー量 E と飽和温度 T との関係と併せて主制御系19により記憶される。但し、この図9(a)に示す関係はそのセンサに特有のものであり、また、センサ周囲の温度或いは湿度等の環境条件の影響を受けるため、この図9(a)に基づいて、飽和温度 T の値から照射エネルギー量 E を算定したり、照射エネルギー量 E から飽和温度 T を求めることは行われないが、ある程度の目安にすることはできる。

【0066】他方、図9(b)は、受光面77の温度変化時のインテグレートセンサ33の出力値の変化を示し、この図9(b)において、横軸は温度センサ75により測定された受光面77の温度 T ($^{\circ}\text{C}$)を表し、縦軸はインテグレートセンサ33の出力変化 ΔI (mA)を表している。この関係は、インテグレートセンサ33への単位時間当たりの照射エネルギーを一定に保った状態で、受光面77の温度 T 及びインテグレートセンサ33の出力値の変化 ΔI を測定することにより求められる。この場合、照明光が一定の照射エネルギー量で継続して照射されることにより、受光面77の温度が自然に上昇する状態で測定を行ってもよいし、また熱交換体71a、71bを作動させて受光面77の温度を制御しながら測定を行ってもよい。後者の熱交換体71a、71bを作動させて測定する方法は、前者の自然な状態に比較して確実に再現できるので都合がよい。

【0067】図9(b)は、照射エネルギー E が飽和エネルギー量 E_s に達するまでの測定値を示している。インテグレートセンサ33の出力変化 ΔI は、直線92に沿って、基準温度 T_N で出力変化0の状態から飽和温度 T_s において出力変化 ΔI が飽和出力変化 ΔI_s となるように、温度 T に対してほぼ一次の関係で表される変化を示す。その直線92の傾きが主制御系19に記憶される。

【0068】本例では、以上のように、インテグレートセンサ33の受光面77の温度を測定する温度センサ75を設けることにより、そのインテグレートセンサ33の温度を照射量の計測値の補正に有効に利用するものである。照射量の計測値の補正は、具体的には以上の図9(a)、(b)で求めた関係に基づき次の(イ)～(ハ)の方法により行う。

【0069】(イ)図8(a)の熱交換体71a、71bを使用し、インテグレートセンサ33の受光面77の温度を飽和温度 T_s に制御しながら、照射エネルギーを計

測する方法

通常、実露光状態でのインテグレートセンサ33に入射する照射エネルギーの積分値は、図9(a)の飽和エネルギー量 E_s よりも大きく、受光面77の温度は殆どの場合飽和温度 T_s に達し、それ以上照射エネルギーが増加しても受光面77の温度はほぼ一定の状態では推移する。従って、受光面77の温度がほぼ飽和温度 T_s に達した後、熱交換体71a、71bを作動させて、受光面77の温度を飽和温度 T_s に維持しながら単位時間当たりの照射エネルギーを測定するものである。上述のように、主制御系19には温度に対する感度変化を示す傾きのデータが記憶されており、この関係に基づいて飽和温度 T_s での出力変化を求め、この出力変化分だけインテグレートセンサ33で検出される単位時間当たりの照射エネルギーの補正を行う。

【0070】図9(a)に示すように、照射エネルギー量 E に対して受光面77の温度がほぼ一定になる飽和温度 T_s は存在するが、それ以上受光面77の温度が変化しないということではなく、照射エネルギー量 E が増加するにつれて少しずつ変化する。また、周囲の環境条件によっても受光面77の飽和温度 T_s が変化する。従って、熱交換体71a、71bにより、インテグレートセンサ33の受光面77の温度を主制御系19にデータとして入力されている飽和温度 T_s に保ちながら照射エネルギーを測定すれば、飽和温度 T_s 近くでは照射エネルギーが変化しても、受光面77の温度変化は小さいため、インテグレートセンサ33の出力変化も小さく、正確に測定が行われる。また、熱交換体71a、71bの制御性をそれほど要求されない利点もある。

【0071】なお、上述のように熱交換体71a、71bは供給される電流を逆向きに変えることにより受光面77との接触面を放熱側(高温側)とすることができ、従って、その電流の方向を制御して受光面77の温度を素早く飽和温度 T_s にすることもできる。或いは受光面77の温度を常に飽和温度 T_s に維持することもできる。この方法によれば、光量の測定開始までの時間が短縮され生産性(スループット)が向上する。

【0072】なお、この(イ)の方法において、受光面77の温度を飽和温度 T_s に維持しなくても、熱交換体71a、71bを作動させて、受光面77の温度を飽和温度 T_s 以下の所定温度に維持しながら光量の測定を行うこともできる。この場合は、その所定の温度での出力変化 ΔI を求める必要がある。更に、飽和温度 T_s 近辺での制御性に比べて熱交換体71a、71bの制御精度を要求されるが、飽和温度 T_s まで測定を待つ必要がなく、測定開始までの時間が短縮される。

【0073】以上の方法は熱交換体71a、71bを使用して、受光面77の温度を制御しながら光量の計測を行うものであるが、次の(ロ)の方法のように熱交換体71a、71bを使用することなく光量を計測してもよ

い。

【0074】(ロ)熱交換体71a, 71bを使用せず、インテグレートセンサ33の受光面77の温度を飽和温度 T_s 付近として計測する方法

上述のように、飽和温度 T_s の近くでは、光量が増加しても受光面77の温度変化は少ない。従って、インテグレートセンサ33の出力変化 ΔI (ドリフト)もほぼ一定の状態では計測することができる。図9(b)で説明したように、飽和温度 T_s での飽和出力変化 ΔI_s は直線92の傾きより主制御系19で算出され、これに基づいてインテグレートセンサ33で検出される単位時間当たりの照射エネルギーを補正する。この方法は、受光面77の温度を制御しなくても、ほぼ安定した測定が行える便利さがある。また、光量の補正に当たっては受光面77の温度 T を測定するだけでよい。また、装置面及び制御面で有利である。本例では受光面77の温度を制御する熱交換体71a, 71bを設けているが、この方法によれば熱交換体71a, 71bを設けなくてもよい。

【0075】以上(イ)及び(ロ)の方法は、飽和温度 T_s 又は熱交換体71a, 71bを利用する方法であるが、両方法とも受光面77の温度が飽和温度 T_s になるまで待つ必要がある。それを回避するために次の(ハ)の方法によりインテグレートセンサ33の測定値の補正を行うようにしてもよい。

【0076】(ハ)熱交換体71a, 71b及び飽和温度 T_s を利用しない方法

この方法は、受光面77の温度を制御することなく、実測された温度に基づいて感度補正を行うもので、測定精度又は制御性は別にして、基本的には図9(b)の関係が判明していれば、温度センサ75により受光部77の温度を測定するだけでインテグレートセンサ33の出力の補正を行うことができる。即ち、温度センサ75により測定した温度と、図9(b)の直線92の傾きとから出力変化 ΔI を求めればよい。

【0077】また、実露光における照射エネルギーの時間による蓄積量の平均的な履歴を記憶していれば、その履歴から図9(a)の関係(関数)より受光面77の大略の温度変化を予測できる。そこで、その予測された温度と図9(b)との関係に基づいて出力変化(ドリフト量) ΔI を算出し、これによりインテグレートセンサ33の出力値を補正してもよい。

【0078】以上、インテグレートセンサ33の受光面77の温度変化によりインテグレートセンサ33の出力変化が生じ、単位時間当たりの照射エネルギーの計測値に誤差が発生する場合の対応について説明したが、更に、インテグレートセンサ33の受光面77への照明光の入射角によっても計測誤差が発生する。本例ではこのための対策も行っている。この入射角の変化は、例えば照明系開口絞り板16で選択される開口絞りの形状等により発生する。

【0079】図10(a)は、インテグレートセンサ33に入射する光束の状態を示し、この図10(a)では、インテグレートセンサ33の受光面77に入射する光束として、受光面77の法線方向から入射する実線で示す光束93C、受光面77の法線Hに対して角度 θ_A で斜め左方向から入射する点線で示す光束93L、及び受光面77の法線Hに対して角度 $-\theta_A$ で斜め右方向から入射する一点鎖線で示す光束93Rを示している。これらの光束93C, 93L, 93Rは、互いに同一の照度でそれぞれインテグレートセンサ33の受光面77の同一の感度フィールド94に入射している。インテグレートセンサ33の受光面77の表面は保護膜95で覆われており、各光束93C, 93L, 93Rはこの保護膜95を透過して受光面に入射する。それら各光束毎にインテグレートセンサ33の出力信号をモニタすると図10(b)のようになる。

【0080】図10(b)は、インテグレートセンサ33における光束の入射角と出力信号との関係を表すグラフを示し、横軸は入射角 θ を表し、縦軸は出力信号 Q を表している。この図10(b)において、点線で示すように入射角0で最大信号 Q_n となり、入射角0を中心とする左右同形の山形の曲線96Bが実測された関係を示し、最大値が同じで曲線96Bより全体として値の大きな実線の曲線96Aは理論値を示している。このグラフに示されるように実測された信号は、図10(a)の光束93Cのように入射角0の場合、理論値と同じ最大信号 Q_n であるが、入射角の絶対値が大きくなるにつれて理論値からの差が大きくなっている。そして、例えば図10(a)の光束93L, 93Rのように入射角度 θ , $-\theta$ で入射した場合、理論値からの信号の差は共に同じ差 ΔQ となる。即ち、出力信号の実測値と理論値との差も入射角0を中心としてほぼ左右同形となる。

【0081】このように入射角に比例して、理論値からの光量差が拡大する現象は、図10(a)の受光面77の保護膜95に起因する。この保護膜95は通常酸化膜等から形成されており、光束の入射角が大きくなると、保護膜95の透過率等が低下するために光量が減少するものである。図10(b)において、ある入射角 θ_x における出力信号の実測値の理論値からの差を ΔQ_x として、この差 ΔQ_x を入射角 θ の関数として求め、この関数を主制御系19内に記憶する。更に、例えば照明光学系中の開口絞り等による光束の入射角の変化についても、予め測定して、そのデータも主制御系19に記憶しておく。そして、それらのデータに基づき実測定時に主制御系19によりインテグレートセンサ33の測定値を補正する。この方法は、特に照明光学系の開口絞りにより光束の入射角が変化するときの対応策として有効であり、各露光装置の間の照度を合わせる(照度マッチング)工程等のときに相対照度を等価にするために利用されるものでもある。

【0082】以上、本例によれば、露光量を制御する上で極めて重要な露光量を計測するインテグレートセンサ33の受光面の温度変化に伴う感度変化及び照明光の入射角の変化に伴う出力信号の変化が補正され、露光フィールド47に照射される単位時間当たりの照射量が高精度に測定され、結果としてウエハWに対する積算露光量が正確に目標値に制御される。従って、レチクルRのパターンの像が、ウエハWのショット領域に高解像度で転写される。また、インテグレートセンサ33の計測値は光量の大きさに影響されないため、本例の構成は特に大きな光量を必要とする走査型の投影露光装置において効果的であり、インテグレートセンサ33から常に所定値以上のSN比の信号を出力することができる。

【0083】なお、上述の実施の形態では露光光源として連続光（水銀ランプ）が使用されているが、露光光源としてエキシマレーザ光源のようなパルス光源を使用する場合、インテグレートセンサでは、1パルスの積分値の光量を計測してもよいが、1パルスの最大ピーク値の光量を計測してもよい。また、上述の実施の形態ではインテグレートセンサ33について説明したが、本発明は、本例で光量を計測するために使用されている他の光電センサ、例えば図7で示す照度むらセンサ49、ウエハ反射率モニタ53、及び照射量モニタ55、更には、本例で使用されていない全ての光量計測系にも同様に適用できる。

【0084】また、本発明は一括露光型の露光装置（ステッパ等）にも同様に適用できる。このように本発明は上記の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。

【0085】

【発明の効果】本発明の第1の露光装置によれば、温度検出手段により光電センサの受光面の温度を計測し、例えば予め求められた受光面の温度と光電センサの出力変化との関係に基づいて、補正手段により光電センサの計測値の補正を行い、光量を高精度に計測することができる。また、このような温度制御手段及び補正手段を備えることにより、光量が大きく変化して受光面の温度が広範囲に変化しても光電センサの計測値の補正ができるため、光電センサへの光量を制限する必要がない。従って、従来のように受光面の温度変化を抑えるために、光電センサへの光量を抑えて光電センサからの出力信号のSN比を低下させるような不都合は生じない。

【0086】また、本発明の第2の露光装置によれば、本発明の第1の露光装置の利点に加えて、温度制御手段により受光面の温度を所望の温度に制御することができるため、光電センサの出力変化が一定の状態では光量の計測ができる。また、この場合、受光面の温度が所望の温度になるまでの時間が短縮されるので生産性（スループット）が更に向上する。また、例えばその温度制御手段により受光面の温度を、露光に先立って予め所望の温度

にしておけば、更に計測時間が短縮され、生産性が更に向上する利点がある。

【0087】また、本発明の第3の露光装置によれば、光電センサの受光面の飽和温度及び飽和温度における感度特性を予め求めておくだけで、光電センサの計測値を高精度に検出することができる。また、この場合、本発明の第2の露光装置のように温度制御手段を必要としない。また、受光面が飽和温度になる時間が予め判明しておれば、本発明の第1及び第2の発明で設けた温度検出手段も必要としない。従って、装置面及び制御面共に簡単な構成で光電センサによる高精度な測定を行うことができる利点がある。

【0088】また、本発明の第1～第3の露光装置において、光電センサが、照明光学系内でその照明光から分離された光束の光量を部分的に計測する光電センサ、感光基板と同一面上に配置され感光基板に照射される照明光の光量を部分的に計測する光電センサ、及び感光基板と同一面上に配置され感光基板に照射される照明光の全体の光量を計測する光電センサよりなる光電センサ群内の少なくとも1つである場合には、それぞれ実露光中での照射量、実露光中での照度むら、及び非露光時での実際の照射量が高精度に計測される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態の一例の走査露光型の投影露光装置を示す一部を切り欠いた構成図である。

【図2】その実施の形態で使用される光量絞り10の一例を示す図である。

【図3】（a）は図1のモザイク型フライアイレンズ（第2フライアイレンズ）14を示す拡大側面図、（b）は図3（a）のBB線に沿う正面図、（c）は図3（a）のCC線に沿う正面図である。

【図4】図1の照明系開口絞り板16上に配置される複数の照明系開口絞りを示す図である。

【図5】（a）はフォーカス・キャリブレーションを行うための機構を示す要部の図、（b）は図5（a）の機構により得られる検出信号の波形図である。

【図6】実施の形態で走査露光を行う場合の可動ブラインド35A、35Bの説明に供給する図である。

【図7】図1の例で使用されている露光量制御システムを示す模式図である。

【図8】（a）はインテグレートセンサ33を示す拡大平面図、（b）はインテグレートセンサ33の変形例を示す正面図である。

【図9】（a）はインテグレートセンサ33に蓄積された照射エネルギーとインテグレートセンサ33の受光面の温度との関係を示す図、（b）はその受光面の温度とセンサの出力変化との関係を示す図である。

【図10】（a）はインテグレートセンサ33と種々の入射角の光束とを示す正面図、（b）は光束の入射角とセンサ出力との関係を示す図である。

【図1】従来の投影露光装置の一例を示す構成図である。

【符号の説明】

R レチクル
PL 投影光学系

W ウエハ

1 水銀ランプ

4 シャッター

23 減光板

9 第1フライアイレンズ

10 光量絞り

12A, 12B 第2リレーレンズ

14 モザイク型フライアイレンズ(第2フライアイレンズ)

16 照明系開口絞り板

19 主制御系

20 露光量制御系

22 電源系

33 インテグレータセンサ

37 固定ブラインド

42 レチクルステージ

47 露光フィールド

48 ウエハステージ

49 照度むらセンサ

53 ウエハ反射率モニタ

55 照射量モニタ

71a, 71b, 72 熱交換体

73 冷却パイプ

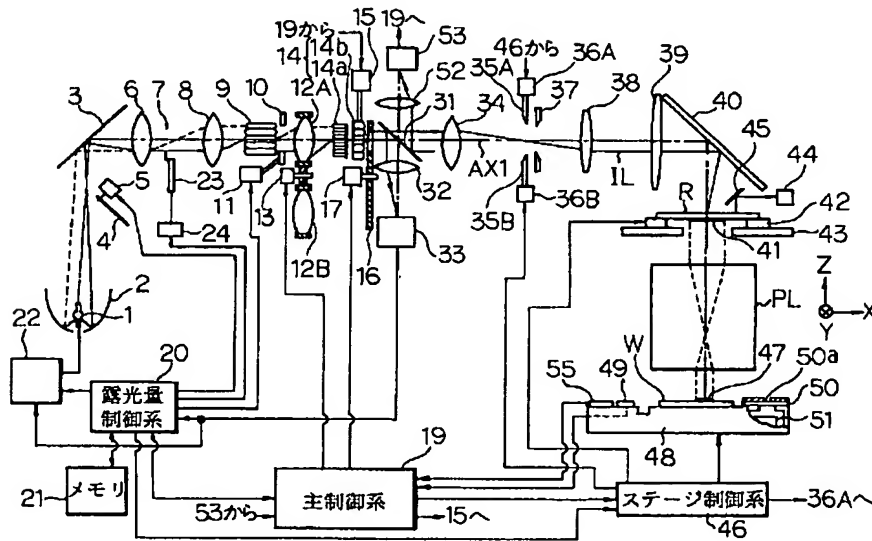
74 放熱板

75 温度センサ

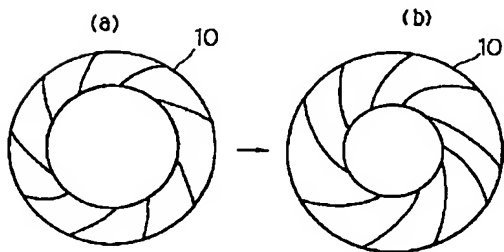
77 受光面

79 温度制御系

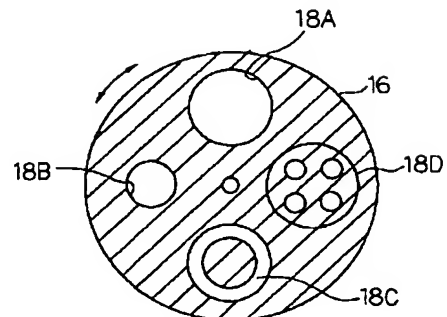
【図1】



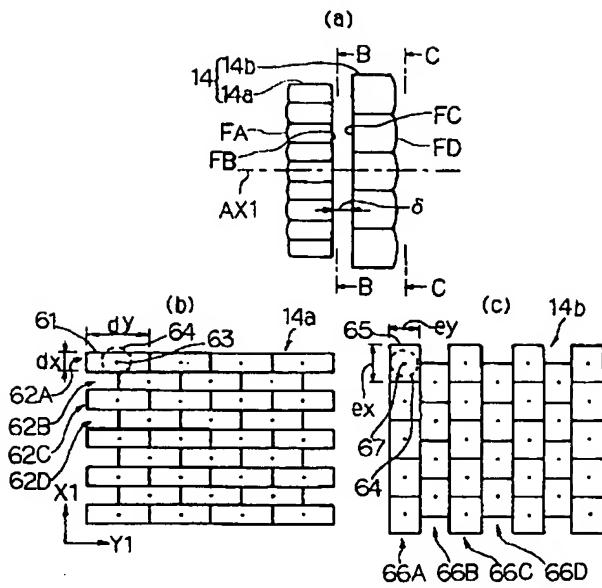
【図2】



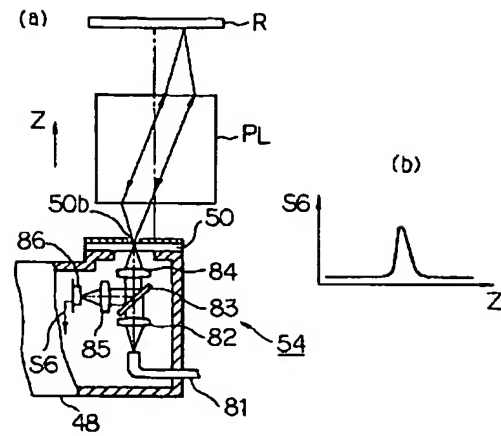
【図4】



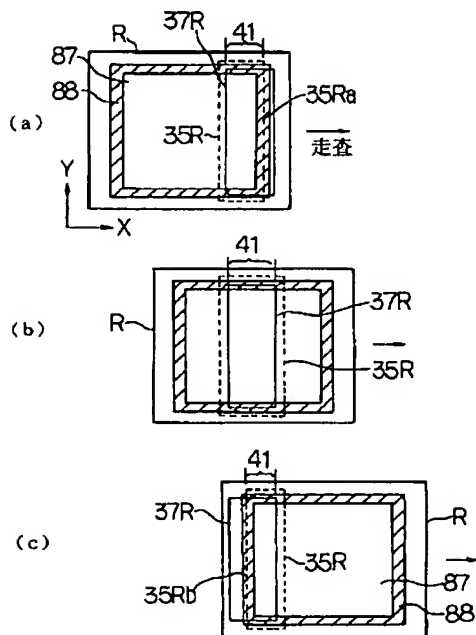
【図3】



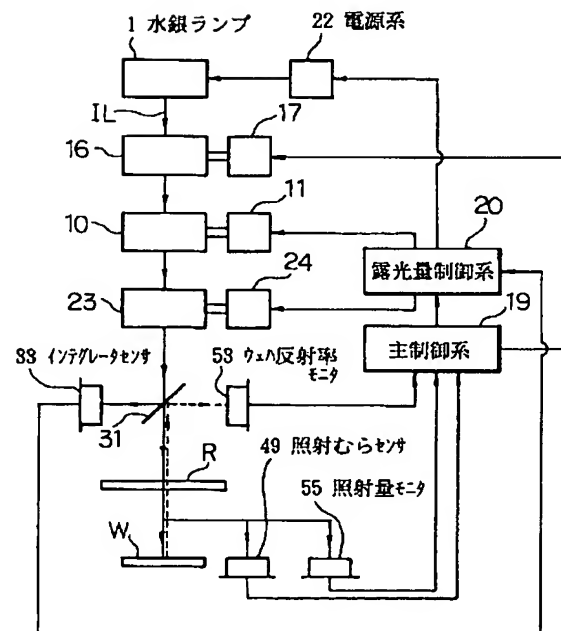
【図5】



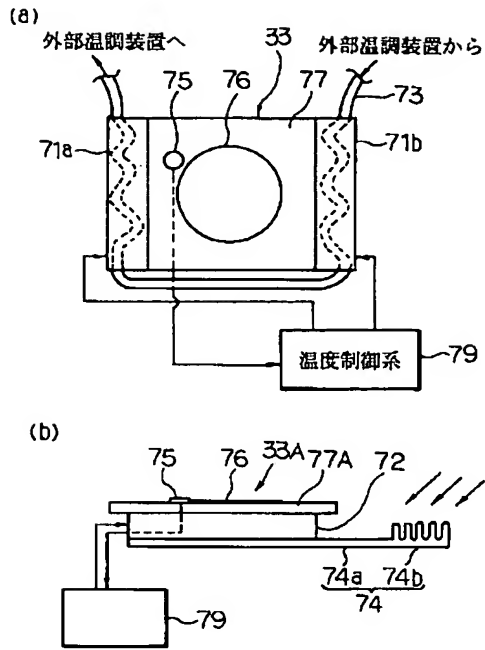
【図6】



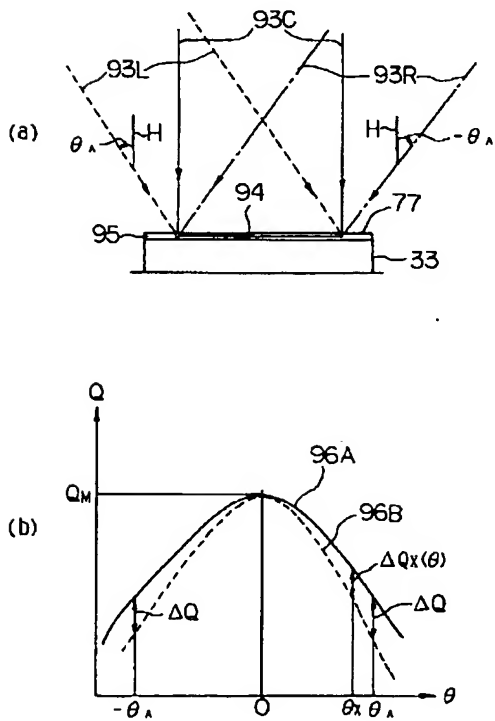
【図7】



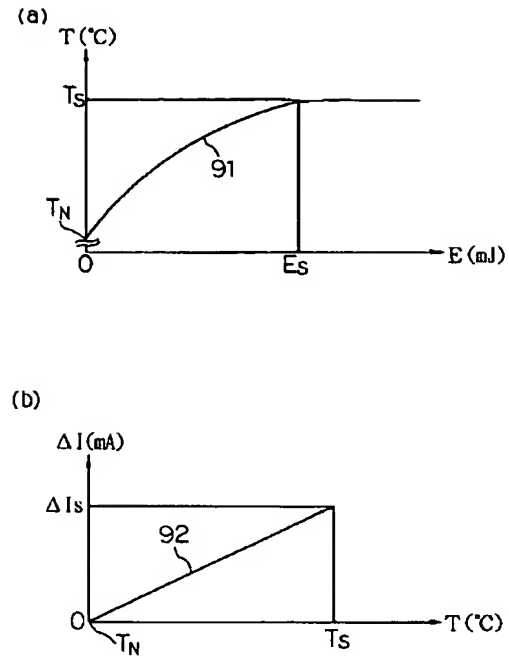
【図8】



【図10】



【图9】



【図 1 1】

